Wärmepumpe und Flaschenfüllanlage

Aufgaben

1 Der Ersatzschaltplan einer Luft-Wasser-Wärmepumpe befindet sich in Material 1. Unter Zuhilfenahme von elektrischer Energie entzieht die Luft-Wasser-Wärmepumpe der Außenluft Energie in Form von Wärme und überträgt diese in das Wasser des angeschlossenen Heizungs- oder Brauchwassersystems.
Im Datenblatt der Luft-Wasser-Wärmepumpe findet man für verschiedene Außentemperaturen und den dazugehörigen Wassertemperaturen die elektrischen Leistungsdaten.
So steht beispielsweise die Angabe A2/W35 für Außenluft 2 °C und Heizungswasser 35 °C.

1.1 Die Ladepumpe des Pufferspeichers (Material 1) nimmt im Betrieb (Q1 geschlossen) einen Strom $I_{Z1} = 0{,}42\,\text{A}$ (induktiv) bei einer Leistung $P = 75\,\text{W}$ auf.
Die Spannung beträgt $\underline{U}_{1N} = 230\,\text{V}\cdot e^{j0°}$ bei einer Frequenz von $f = 50\,\text{Hz}$.

1.1.1 Bestimmen Sie den komplexen Strom $\underline{I}_{Z1}$ sowie die komplexe Impedanz $\underline{Z}_1$.

(4 BE)

1.1.2 Zeichnen Sie die elektrische Ersatzschaltung der Ladepumpe und ermitteln Sie die Bauteilgrößen der Ersatzschaltung.

(4 BE)

1.1.3 Zeichnen Sie das quantitative Leistungsdreieck der Ladepumpe. Ermitteln Sie dafür alle relevanten Größen.

(5 BE)

1.2 Beim Betriebspunkt A2/W35 der Luft-Wasser-Wärmepumpe können für den Kompressormotor des Verdichters (Q2 geschlossen) folgende Angaben aus dem Datenblatt entnommen werden:
- $P_{el} = 3{,}16\,\text{kW}$
- $I_{Z2} = 5{,}9\,\text{A}$
- $\cos\varphi = 0{,}77$

Die Außenleiterspannung beträgt $\underline{U}_{12} = 400\,\text{V}\cdot e^{j30°}$ bei einer Frequenz von $f = 50\,\text{Hz}$.
Untersuchen Sie die Schaltung des Kompressormotors und bestimmen Sie die komplexen Motorströme $\underline{I}_{Z2}$, $\underline{I}_{Z3}$ und $\underline{I}_{Z4}$.

Hinweis: Ein Motor ist ein symmetrischer ohmsch-induktiver Verbraucher.

(9 BE)

1.3 Bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe sinkt die Heizleistung mit fallender Außentemperatur. Um die geforderte Heizleistung dennoch zu erreichen, werden bei kalten Außentemperaturen Heizwiderstände zugeschaltet (Material 1). Die Kontakte Q2 und Q3 sind geschlossen. Folgende Ströme sind für diesen Betriebspunkt bekannt:

- Kompressormotor Verdichter: $\underline{I}_{Z2} = 6\text{A}\cdot e^{-j40°}$
- Zusatz-Heizstäbe: $\underline{I}_{R1} = 9\text{A}\cdot e^{j0°}$

Hinweise: Die Ströme der bei diesem Betriebspunkt eingeschalteten Ladepumpe des Pufferspeichers und des Lüftermotors der Außenluft sind aufgrund ihrer geringen Leistungsaufnahme zu vernachlässigen.
Die Heizwiderstände sind als symmetrische Verbraucher zu betrachten.

1.3.1 Geben Sie die komplexen Ströme $\underline{I}_{Z3}$, $\underline{I}_{Z4}$, $\underline{I}_{R2}$ und $\underline{I}_{R3}$ an. Untersuchen Sie die Schaltung und berechnen Sie die komplexen Ströme $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$ und $\underline{I}_3$.

(6 BE)

1.3.2 Zeichnen Sie das vollständige, quantitative Zeigerdiagramm aller komplexen Ströme.

(6 BE)

1.4 Bei Wärmepumpen ist der Lüftermotor der Außenluft (Material 1) ein EC-Motor (Electronically Commutated Motor). Dieser besitzt eine interne Regelelektronik, damit die Drehzahl stufenlos dem Betriebspunkt angepasst werden kann. Neben dem Netzanschluss (Material 1) wird der Motor mit einem 0 – 10 V Signal angesteuert. 0 V steht hier für 0 % Lüftergeschwindigkeit und 10 V für 100 % Lüftergeschwindigkeit. Das Signal wird durch eine Pulsweitenmodulation (PWM) in Material 2 erzeugt. Von dem PWM-Ansteuersignal in Material 2 sind folgende Werte bekannt:
$\hat{u} = 10\,\text{V}$ Schaltfrequenz: $f = 10\,\text{kHz}$

1.4.1 Bestimmen Sie die Periodendauer T des PWM-Signals. Erläutern Sie den periodischen Mittelwert, der die Gleichspannung U_{DC} abbildet, und nennen Sie die allgemeine Bestimmungsgleichung des Mittelwerts.

(4 BE)

1.4.2 Berechnen Sie den Wert der Gleichspannung U_{DC}.

(3 BE)

1.4.3 Zeichnen Sie quantitativ den Signalverlauf für $U_{DC} = 7\,\text{V}$.

(2 BE)

1.5 Der Kompressormotor des Verdichters enthält zum Begrenzen des Anlaufstroms einen Sanftstarter. Dieser funktioniert nach dem Prinzip der Phasenanschnittsteuerung (Material 3). Durch die Veränderung des Zündwinkels α kann der Effektivwert der Netzspannung stufenlos eingestellt und somit der Strom im Motor herabgesetzt werden.

1.5.1 Entwickeln Sie aus dem allgemeinen Bestimmungsansatz des Effektivwerts einer sinusförmigen Wechselspannung einen Berechnungsansatz für den angegebenen Zündwinkel und bestimmen Sie den Effektivwert.

Hinweis: Für den allgemeinen Bestimmungsansatz des Effektivwerts gelten folgende Formeln:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{\text{T}} {u_{(\text{t})}}^2 \,\mathrm{d}t} \quad \text{bzw.} \quad U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{360°}\int_0^{360°} {u_{(\varphi)}}^2 \,\mathrm{d}\varphi}$$

(7 BE)

1.5.2 Material 4 zeigt die Kennlinie eines Wechselstromstellers.
Bestimmen Sie für die Zündwinkel von 60° und 90° die Werte für U_α mithilfe der Kennlinie.

(4 BE)

1.6 An einem Verbraucher in der Wärmepumpe wurde der Spannungsverlauf oszillografiert. Dabei wurde erkannt, dass 1 ms vor dem Erreichen der Amplitude der Augenblickswert ca. 95 % der Amplitude beträgt.
Entwickeln Sie einen Berechnungsansatz und berechnen Sie die Frequenz f der Spannung.

(8 BE)

1.7 Da es sich bei der Wärmepumpe um symmetrische Dreiphasenverbraucher handelt, kann auf den Neutralleiteranschluss verzichtet werden. Sind die Verbraucher unsymmetrisch, so muss der Neutralleiter angeschlossen werden, da es sonst zur Sternpunktverschiebung kommt.
In einer Fachzeitschrift lesen Sie, dass unter ungünstigsten Lastverhältnissen bei der Sternschaltung mit Neutralleiter der Neutralleiterstrom das 2,732-fache des Außenleiterstroms annehmen kann.

Weisen Sie für einen Außenleiterstrom von $\left|\underline{I}_{\text{R,L1}}\right| = \left|\underline{I}_{\text{C,L2}}\right| = \left|\underline{I}_{\text{L,L3}}\right| = 10\,\text{A}$ diesen Sachverhalt nach und zeichnen Sie die Schaltung für diesen Fall. Geben Sie alle Bauteilgrößen in [Ω] an.

Hinweis: In jedem Strang befindet sich genau ein Bauteil (R, L, C).

(8 BE)

2 In einer kleinen Destillerie sollen hochwertige Spirituosen abgefüllt werden. Das Technologieschema der Flaschenfüllanlage ist in Material 5 zu sehen.
Die Füll- sowie Verschraubeinrichtung sollen mit einem separaten Mikrocontrollersystem für die Steuerung versehen werden. Die beiden Einrichtungen erhalten jeweils ein Bit für den Start- und Stoppbefehl der Anlage.
Wird eine Flasche am Band vom Sensor B1 erkannt, kann mit dem Taster S1 ein Befüllvorgang gestartet werden. Steht die Flasche am Sensor B2, wird diese befüllt. Die Befülldauer soll mit einer Zeit von 15 Sekunden im Programm eingearbeitet werden. Ist diese Zeit vergangen, fährt die Flasche zur Verschraubung. Für die Verschraubungsdauer wird eine Zeit von 8 Sekunden im Programm hinterlegt. Nach der Verschraubung fährt die befüllte Flasche wieder zurück bis zur Position des Sensors B1. Die Entnahme sowie die Neubestückung werden manuell vorgenommen.
Dieser Produktionsablauf kann 12 Mal durchlaufen werden, dann ist ein Kasten mit Spirituosen befüllt. Dies wird mit der LED H1 angezeigt. Ist ein neuer, leerer Kasten vorhanden, wird manuell mit dem Taster S2 die LED H1 ausgeschaltet.
So lange die LED H1 leuchtet, kann kein neuer Befüllzyklus gestartet werden.
Der Motor M1 wird mit den Schützen Q1 in den Rechtslauf und mit Q2 in den Linkslauf geschaltet. Hierzu werden Transistoren als Schaltverstärker verwendet. Die Schützspulen von Q1 und Q2 sind mit Schutzdioden (Freilaufdioden) zu beschalten.

2.1 Ergänzen Sie die vollständige Beschaltung des Mikrocontrollersystems in Material 6.

Hinweise: Die Belegung der Pins ist dem Codeausschnitt in Material 7 zu entnehmen. Alle Eingänge sind mit Pulldown-Widerständen zu versehen. Die Sensoren B1, B2 und B3 sind als mechanische Kontakte darzustellen (Material 5).

(10 BE)

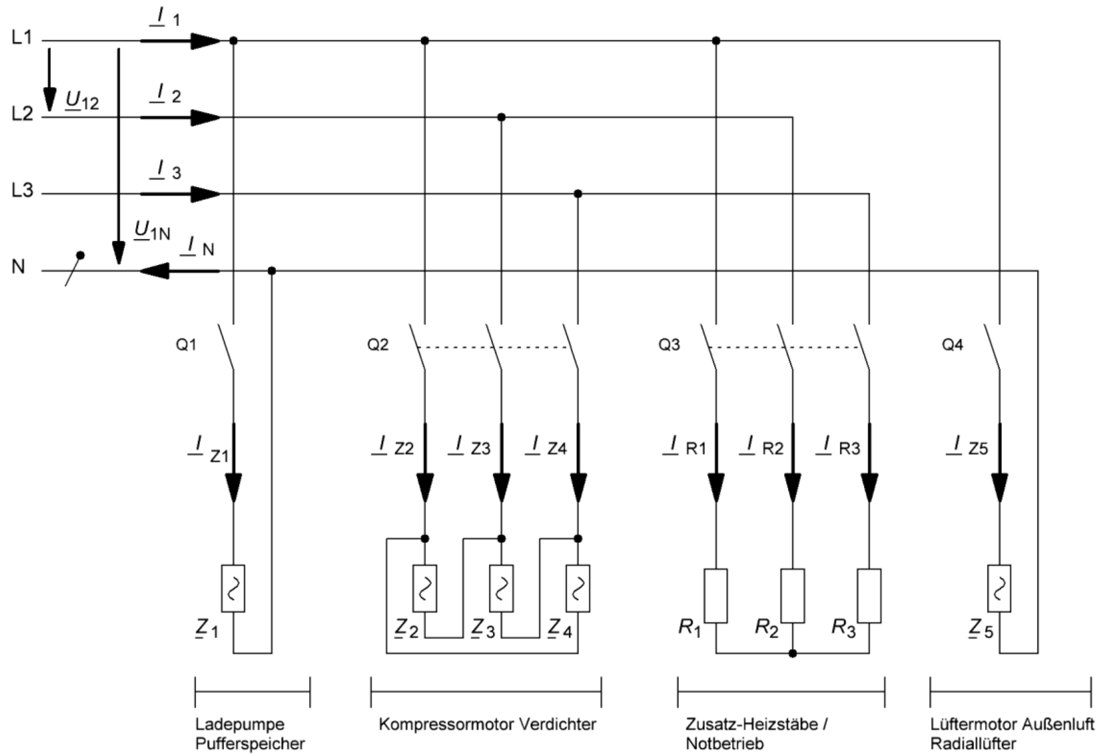
2.2 Implementieren Sie den Programmcode für die Flaschenfüllanlage.

Hinweis: Der in Material 7 dargestellte Codeausschnitt ist für die Erstellung des Programms zwar verbindlich, muss jedoch nicht abgeschrieben werden.

(20 BE)

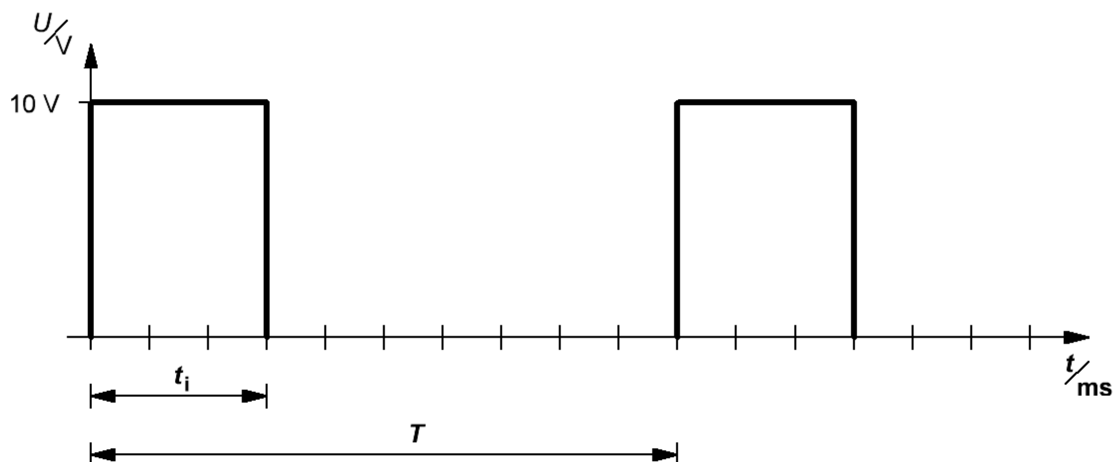
Material 1

Ersatzschaltplan einer Luft-Wasser-Wärmepumpe



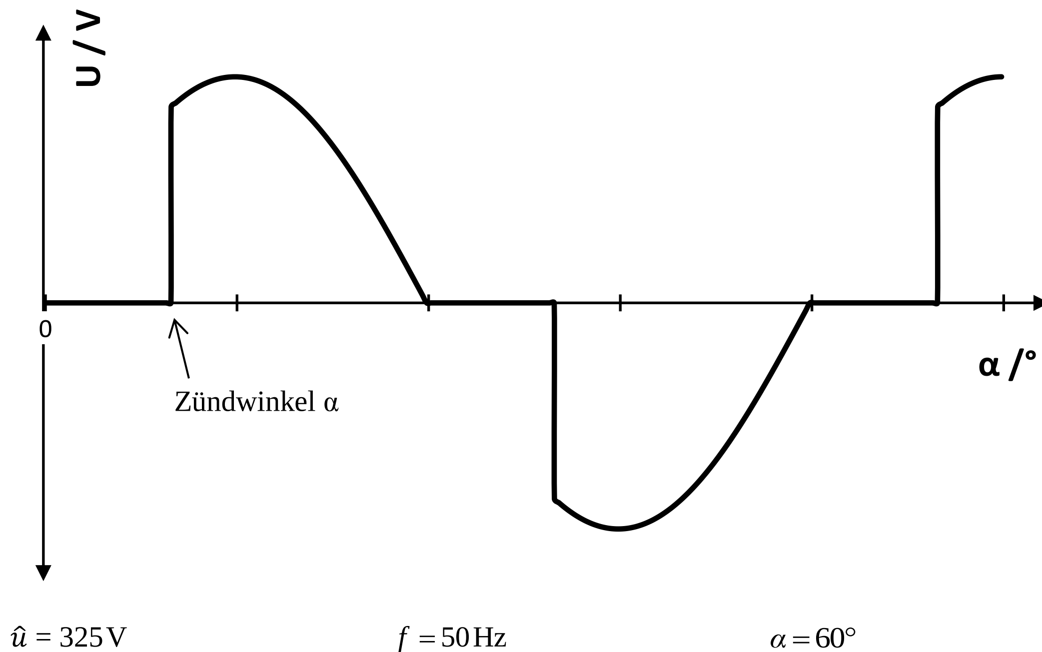
Material 2

PWM-Ansteuersignal



Material 3

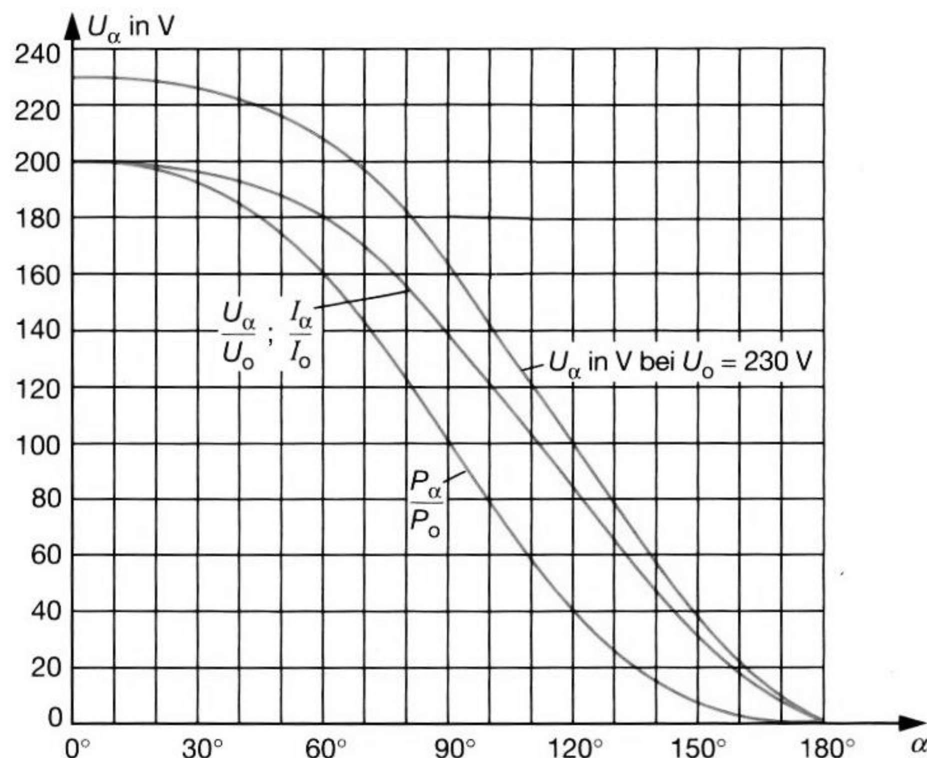
Sanftstarter-Prinzip der Phasenanschnittsteuerung



$\hat{u} = 325\,\text{V}$ $f = 50\,\text{Hz}$ $\alpha = 60°$

Material 4

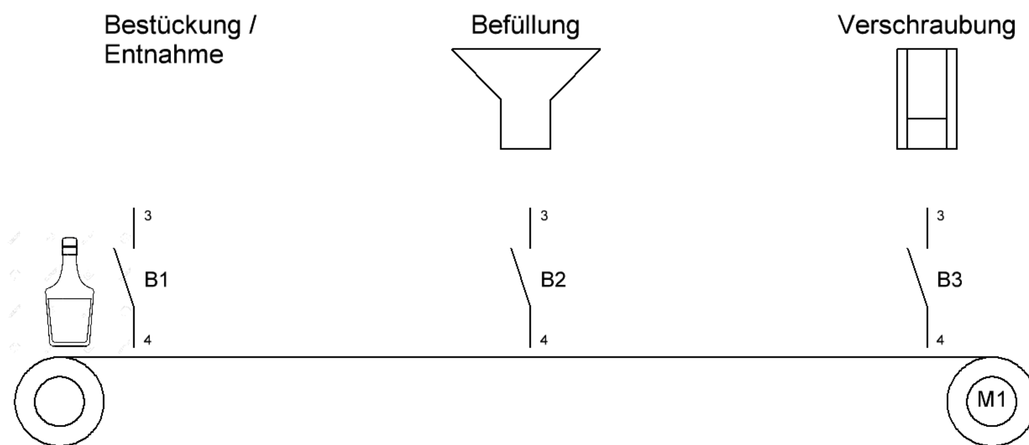
Kennlinie Wechselstromsteller

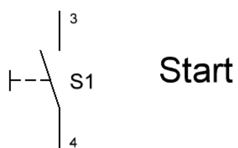


Modifiziert nach: https://www.mikrocontroller.net/attachment/55960/Steuerkennlinie.JPG (abgerufen am 10.02.2020).

Material 5

Technologieschema der Flaschenfülleinrichtung





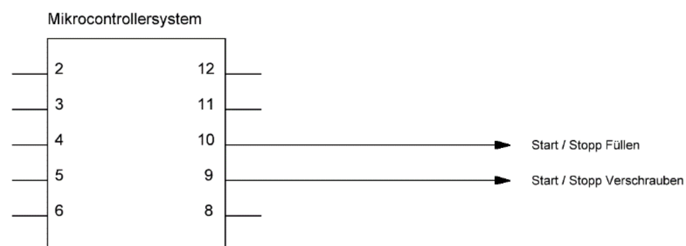




Material 6

Ergänzung - Beschaltung des Mikrocontrollersystems

+5V +24V



Material 7

Codeausschnitt

```
const int sensorB1 = 2;
const int sensorB2 = 3;
const int sensorB3 = 4;
const int tasterS1 = 5;
const int tasterS2 = 6;

const int leuchtmelderH1 = 8;
const int verschrauben = 9;
const int fuellen = 10;
const int schuetzQ2 = 11;
const int schuetzQ1 = 12;


void setup()
{
  pinMode(sensorB1, INPUT);
  pinMode(sensorB2, INPUT);
  pinMode(sensorB3, INPUT);
  pinMode(tasterS1, INPUT);
  pinMode(tasterS2, INPUT);

  pinMode(leuchtmelderH1, OUTPUT);
  pinMode(verschrauben, OUTPUT);
  pinMode(fuellen, OUTPUT);
  pinMode(schuetzQ2, OUTPUT);
  pinMode(schuetzQ1, OUTPUT);
}
```